

**BREU DESCRIPCIÓ DE DIVERSES TÈCNIQUES DE DESSALATGE D'AIGUA DE MAR. COSTOS, IMPACTES I POSSIBILITATS ACTUALS D'UTILITZACIÓ D'ENERGIES RENOVABLES**



Sònia Estradé Niubó

**OBSERVATORI SOCIOAMBIENTAL DE MENORCA**  
***DOCUMENTS DE TREBALL 06/2003***

---

**BREU DESCRIPCIÓ DE DIVERSES TÈCNiques DE DESSALATGE D'AIGUA DE MAR. COSTOS, IMPACTES I POSSIBILITATS ACTUALS D'UTILITZACIÓ D'ENERGIES RENOVABLES.**

Recopilació bibliogràfica sobre les tècniques més utilitzades actualment en el dessalatge d'aigua de mar i les possibilitats existents en l'actualitat per a l'utilització d'energies renovables en aquest camp.

**Elaboració:**

Sònia Estradé Niubó, llicenciada en ciències ambientals. Seguiment dels recursos hídrics de Menorca a l'OBSAM

Institut Menorquí d'Estudis (IME) Carrer Nou, 35      07701 Maó (Menorca)      Tel: 971 361582      Fax: 971351642

Web: [www.obsam.org](http://www.obsam.org)

**Agraïments:**

Sergi Marí Pons, director de l'OBSAM

## **ÍNDEX**

- 1. INTRODUCCIÓ**
- 2. TÈCNIQUES DE DESSALATGE**
  - 2.1. PROCESSOS DE DESTIL·LACIÓ**
    - 2.1.1. Destil·lació tèrmica
    - 2.1.2. Destil·lació per compressió de vapor
    - 2.1.3. Destil·lació solar
  - 2.2. PROCESSOS DE CONGELACIÓ**
  - 2.3. PROCESSOS DE MEMBRANA**
    - 2.3.1. Osmosi inversa
    - 2.3.2. Electrodiàlisi
- 3. COSTOS DEL DESSALATGE**
  - 3.1. Costos d'inversió
  - 3.2. Energia
  - 3.3. Costos totals
- 4. IMPACTES DEL DESSALATGE**
- 5. EL DESSALATGE AMB ENERGIES RENOVABLES**
  - 4.1 SISTEMES DE DESSALATGE AMB ENERGIES RENOVABLES**
    - 4.1.1 *Solar stills*
    - 4.1.2 Sistemes solars de dessalatge amb plantes MED o MSF
    - 4.1.3 Plantes dessaladores fotovoltaïques i eòliques
  - 5.2. COSTOS**
  - 5.3 EXEMPLES PROPERS DE PLANTES DESSALADORES AMB ENERGIES RENOVABLES**
    - 5.3.1. Plantes d'experimentació
    - 5.3.2 Plantes en funcionament
    - 5.3.3 Projectes en marxa
- 6. ALGUNES FONTS D'INFORMACIÓ**
- 7. BIBLIOGRAFIA**

## **1. INTRODUCCIÓ**

A les regions àrides o semiàrides com la nostra, l'aigua és un recurs escàs, quant a qualitat i a quantitat, la qual cosa fa necessària una gestió acurada per tal de mantenir aquest bé imprescindible per a la vida. El dessalatge d'aigua de mar o d'aigües salobres és un procés a través del qual es fa una aportació externa del recurs de naturalesa no convencional al total d'aigua dolça disponible per al consum, però, com és conegut, aquest increment de recurs no és gratuït, sinó que, com un dels seus principals inconvenients, trobem l'elevada despesa energètica que comporta. L'objectiu d'aquest document és descriure de manera breu els diferents processos i tècniques utilitzats per al dessalatge d'aigua de mar, el cost i l'impacte que implica aquest procés, i valorar les possibilitats de dessalatge que existeixen actualment utilitzant energies renovables.

## **2. TÈCNIQUES DE DESSALATGE**

Els processos de dessalatge es basen en la separació de l'aigua salina, amb la qual cosa, aconseguim, d'una banda aigua amb baixa concentració de sals (flux d'aigua potable), i, de l'altra, aigua amb una elevada concentració de sals (salmorra), que s'extreu del sistema. Els recursos hídrics susceptibles de dessalatge poden tenir bàsicament dos orígens: aigua de mar o aigua subterrània salinitzada, la qual al seu torn, pot provenir d'aqüífers costaners en contacte directe amb la mar o d'aqüífers aïllats de la costa. Els processos de dessalatge són fonamentalment tres: de destil·lació, de congelació i de membrana.

### **2.1. PROCESSOS DE DESTIL·LACIÓ:**

Els processos de destil·lació es basen en la separació dels components no volàtils. El sistema consisteix a portar l'aigua a ebullició i a condensar-la posteriorment per obtenir així aigua amb una baixa concentració de sals, cosa que és possible gràcies a que l'aigua i els gasos que conté dissolts són molt volàtils, mentre que les sals no ho són. Tot i així, però, la volatilitat de les sals s'ha de tenir en compte quan la destil·lació es realitza sobre els 300 °C.

Aquest és el mètode més desenvolupat de dessalatge d'aigua: Al voltant d'un 60% de l'aigua dessalada a nivell mundial s'obté amb aquest sistema.

### **2.1.1. Destil·lació tèrmica**

L'energia necessària per al dessalatge mitjançant destil·lació tèrmica és obtinguda de combustibles fòssils (carbó, gas natural, petroli, etc.)

#### **> Procés MSF (evaporació sobtada multietapa)**

Amb aquest procés, l'aigua del mar és escalfada en un recipient anomenat escalfador d'aigua marina. Aquest sistema generalment es realitza per condensació de vapor d'aigua en un sistema de tubs que passa a través del tanc d'aigua salada, la qual va a parar a un altre tanc denominat etapa, on la pressió és prou baixa, per tal que l'aigua bulli immediatament i passi a vapor. L'evaporació continua fins que la temperatura de l'aigua descendeix per sota del punt d'ebullició de l'aigua per aquesta pressió i el vapor generat es converteix en aigua potable per condensació als tubs d'intercanvi de calor que passen a través de cada una de les etapes. Aquests tubs es refreden per l'acció de l'aigua d'alimentació que va cap a l'escalfador, el qual l'escalfa de forma que la quantitat d'energia tèrmica que necessita per tal d'eleva la temperatura d'aigua salada és més petita.

L'MSF és el procés d'evaporació més utilitzat al món, d'àmplia implantació a tot l'Orient Mitjà. Els avantatges d'aquest procés són l'elevada capacitat de les plantes MSF, i el fet que és un sistema especialment vàlid quan la qualitat de l'aigua d'entrada no és gaire bona, i el seu principal desavantatge, és el consum específic: la quantitat d'energia consumida per produir un metre cúbic d'aigua és la més elevada de tots els processos estudiats.

#### **> Procés MED (evaporació en efectes múltiples)**

La destil·lació en efectes múltiples (MED) s'utilitza en algunes plantes de construcció recent, però s'està substituint per MSF a conseqüència del cost menor i la major eficàcia d'aquest últim.

Com en el cas del procés MSF, la destil·lació es duu a terme en una sèrie de tancs en els quals es va reduint progressivament la pressió, cosa que permet que l'aigua bulli múltiples vegades sense necessitat d'aportar calor cada cop que es canvia de tanc.

En aquestes plantes, l'aigua de mar entra en un primer tanc i es porta al punt d'ebullició després d'haver estat preescalfada en tubs: l'aigua es distribueix sobre la superfície de l'evaporador en una pel·lícula fina amb l'objectiu de provocar que bulli ràpidament, els tubs s'escalfen mitjançant el vapor d'aigua que prové d'una caldera, o una altra font, i es condensa a l'altre costat de les canonades i, finalment, l'aigua condensada es retorna a la caldera per tal de reutilitzar-la.

La utilització d'aquest procés a nivell mundial és molt inferior que la de les plantes MSF.

### **2.1.2. Destil·lació per compressió de vapor**

Aquest sistema consisteix a evaporar l'aigua del mar, augmentar la temperatura de condensació de vapors mitjançant un compressor i condensar-la en un intercanviador de calor.

#### **➤ Evaporació per compressió de vapor (VC)**

Es fa servir en plantes de petita o mitjana escala que aprofiten el descens de la pressió de vapor que es produeix a la dissolució. El que bàsicament es pretén és baixar el punt d'ebullició reduint la pressió a la qual està l'aigua de mar. L'evaporació es du a terme a la part més baixa de la cambra i tant per condensar el vapor, com per produir la calor suficient per evaporar aigua s'utilitza un compressor mecànic o una turbina de vapor. Els vapors són extrets pel compressor, que els fa circular per l'interior dels tubs condensadors. Quan el vapor es comprimeix, augmenta la seva temperatura de condensació i, en refredar el condensador amb l'aigua evaporant, es condensen els vapors i l'aigua dolça obtinguda d'aquesta manera s'extreu de l'evaporador. La compressió mecànica es realitza elèctricament, la qual cosa permet l'ús exclusiu de l'electricitat per a la producció d'aigua per destil·lació.

El rendiment d'aquest tipus de plantes és similar al de les plantes MED, però la seva capacitat dessaladora pot ser molt més elevada.

### **2.1.3. Destil·lació solar**

La destil·lació solar és adequada per a petites comunitats de regions àrides o semiàrides. Té dues variants, segons si s'utilitza l'energia del sol directament o per captura, mitjançant cèl·lules solars.

Els sistemes que utilitzen l'energia directa del sol per dessalar l'aigua imiten el cicle hidrològic natural: el sol escalfa l'aigua, la qual cosa provoca la producció de vapor d'aigua, que es condensa sobre una superfície freda, i aquesta condensació es recull com a aigua producte. Exemples d'aquest sistema són les destil·leries per efecte hivernacle: es posa aigua en una cubeta recoberta amb vidre, l'aigua s'escalfa, s'evapora i es condensa sobre el vidre que cobreix la cubeta.

S'ha de tenir en compte que, com a regla general, per dessalar quatre litres d'aigua al dia es necessita una àrea de recol·lecció solar d'un metre quadrat. A més, també s'ha de tenir present que requereix un bon manteniment, perquè hi ha molts problemes d'incrustacions i precipitacions. És a dir, tot i que el seu cost energètic és nul, la seva poca rendibilitat es deu al fet de la seva baixa productivitat.

## **2.2. PROCESSOS DE CONGELACIÓ**

Les tècniques de dessalatge per congelació es basen en sotmetre l'aigua salina a diversos sistemes de refrigeració per després fer-la evaporar a baixa pressió en un cristal·litzador al buit. Així s'obtenen cristalls de gel mesclats amb cristalls de salmorra que poden ser separats més tard per processos mecànics i un cop s'obté el gel es desfà per aconseguir l'aigua producte.

Teòricament, la congelació presenta algunes avantatges sobre la destil·lació, com ara menys requeriments energètics, un mínim potencial de corrosió i menys precipitacions i incrustacions. El principal desavantatge però, és que s'ha de manejar mecànicament mesclades d'aigua i gel, el què resulta complex, com també ho és l'aïllament tèrmic. Actualment, aquest sistema no és gaire competitiu i s'utilitza més per al tractament d'aigües residuals industrials que no pas per obtenir aigua potable dessalada.

## **2.3. PROCESSOS DE MEMBRANA**

De gran difusió en l'actualitat, hi ha dos tipus bàsics de processos de membrana per al dessalatge d'aigua.

### 2.3.1. Osmosi inversa (O.I)

L'osmosi és un procés natural que s'observa quan tenim dues solucions de concentracions diferents separades per una membrana semipermeable, que deixa passar l'aigua però no les sals. Es produeix, de manera natural, la circulació de l'aigua de la zona menys concentrada cap a la més concentrada per tal d'igualar les concentracions finals. Com a resultat d'aquest procés es produeix una diferència de pressió (pressió osmòtica). Mitjançant l'aplicació de pressió mecànica es pot contrarestar la pressió osmòtica natural de manera que l'aigua flueixi des de la zona amb major concentració a la de menor concentració fins obtenir aigua de puresa admissible, tot i que no és comparable amb la produïda amb els processos de destil·lació.

Un problema important d'aquest procés és que les membranes s'embruten molt fàcilment i, per tant, és necessari un pretractament intensiu (cloració, filtració, acidificació, aplicació de polifosfats, decloració, etc.)

Aquest procés és predominant a Espanya per diverses raons:

- El consum elèctric específic és menor que en els altres sistemes estudiats fins ara: 6-8 KWh/m<sup>3</sup> que es poden reduir fins a 3 KWh/m<sup>3</sup> aprofitant l'energia continguda en la salmorra rebutjada a alta pressió.
- El cost energètic, pel fet de ser un procés de filtració, depèn de la concentració de l'aigua bruta, factor que no influeix en les tècniques d'evaporació.
- L'adaptabilitat a una ampliació de la seva capacitat si la demanda és creixent a la zona és superior que la d'altres tipus de plantes.
- Els costos d'inversió són menors que en altres tecnologies.

Les limitacions tecnològiques associades a les membranes amb alguns tipus d'aigües marines fan que la seva implantació total sigui inviable a la resta del món.

### **2.3.2. Electrodiàlisi**

L'electrodiàlisi consisteix en la separació iònica a través d'una sèrie de membranes situades successivament i separades entre si uns mil·límetres. L'aplicació de camps elèctrics genera la migració d'ions que passen per aquestes membranes, les quals actuen com a tamisos.

#### ➤ **Electrodiàlisi (ED)**

En introduir dos elèctrodes dins la solució salina, els ions amb càrrega negativa es dirigeixen cap a l'elèctrode positiu o càtode, mentre que els de càrrega positiva van cap a l'ànode.

#### ➤ **Ectrodiàlisi inversa (EDR)**

El funcionament és el mateix que el de l'ED però es va canviant la polaritat dels elèctrodes unes quantes vegades l'hora i es van desviant els fluxos simultàniament, de forma que el canal de salmorra es converteix en el d'aigua producte i viceversa. Aquesta pràctica és adequada per dispersar incrustacions i dipòsits abans que puguin crear problemes, i, amb la qual cosa minimitza l'obstrucció de membranes.

A continuació mostrem un quadre resum amb les tècniques de dessalatge descrites (quadre 1)

### Quadre resum de les diverses tècniques de dessalatge

TIPUS	PRINCIPIS FÍSICO-QUÍMICS	MODE	PROCESSOS	
PROCESSOS QUE SEPAREN AIGUA	Canvis d'estat	Destil·lació evaporació	MED	Destil·lació multiefecte-tubs horitzontals
			VTE	MED-tubs verticals
			MSF	Evaporació sobtada multietapa
			MSFR	MSF amb recirculació de salmorra
			VC	Compressió de vapor mecànica
			VCT	VC tèrmica o termocompressió de vapor
			SE	Destil·lació solar
			F	Destil·lació súbdita simple etapa
			ST	Destil·lació en tubs submergits
		Cristal·lització		Congelació
				Formació d'hidrats
		Filtració	OI	Osmosi inversa
			Mf	Microfiltració
			Nf	Nanofiltraió
Uf	Ultrafiltració			
Mft	Microfiltració tangencial			
PROCESSOS QUE SEPAREN SALS	Membranes de transport selectiu	Filtració selectiva	ED	Electrodiàlisi
			EDR	Electrodiàlisi inversa
			D	Diàlisi
	Canvi químic o enllaços iònics	Intercanvi	--	

Quadre 1. Tècniques de dessalatge.  
Font. Miguel Torres Corral (1994)

Al quadre 2 podem observar la comparació de diverses característiques dels processos més utilitzats comentats anteriorment:

	<b>MSF</b>	<b>MED-TVC</b>	<b>CV</b>	<b>OI</b>	<b>ED</b>
<b>Tipus d'energia</b>	Tèrmica	Tèrmica	Elèctrica	Elèctrica	Elèctrica
<b>Consum energètic primari (KJ/Kg)</b>	Alt (>200)	Alt/mitjà (150-200)	Mitjà (100-150)	Baix (<80)	Baix (<30)
<b>Cost instal·lacions</b>	Alt	Alt/mitjà	Baix	Alt	Mitjà
<b>Capacitat de producció (m<sup>3</sup>/dia)</b>	Alta (>50.000)	Mitjana (<20.000)	Baixa (<5.000)	Alta (>50.000)	Mitja (<30.000)
<b>Possibilitat ampliació</b>	Difícil	Difícil	Difícil	Fàcil	Fàcil
<b>Fiabilitat d'operació</b>	Alta	Mitja	Baixa	Alta	Alta
<b>Dessalatge d'aigua de mar</b>	Sí	Sí	Sí	Sí	No
<b>Qualitat de l'aigua dessalada</b>	Alta (<50)	Alta (<50)	Alta (<50)	Mitja (300-500)	Mitja (<300)
<b>Superfície de terreny necessària</b>	Molta	Mitja	Poca	Poca	Poca

*Quadre 2: Valoració de diferents característiques per als mètodes de dessalatge més utilitzats actualment*

*Font: CIRCE i Universitat de Saragossa*

### 3. COSTOS DEL DESSALATGE

El dessalatge és un procés industrial com un altre i, per tant, és necessari invertir capital, consumir energia, fer funcionar la maquinària de la millor forma possible i considerar les seves repercussions ambientals. S'ha de tenir en compte que per construir plantes dessaladores normalment s'ha de recórrer a préstecs a causa de la necessitat de grans volums de capital amb la qual cosa les condicions repercutiran a l'hora d'adjudicar un contracte de subministrament d'aigua.

Hi ha diferències molt importants entre els costos del dessalatge d'aigua de mar i el d'aigües salobres, les inversions, així com també el consum energètic, son molt diferents en cada cas. A més, també hi ha importants diferències entre els processos de destil·lació i osmosi inversa.

### 3.1. COSTOS D'INVERSIÓ

Les inversions s'han reduït considerablement, tant en els processos de destil·lació com en els d'osmosi, la inclusió de nous materials resistents a la corrosió i més econòmics que els acers inoxidable o les aleacions de titani, i, en especial, en el cas dels processos d'osmosi, gràcies a l'abaratiment del preu de les membranes, que, a més de ser de major qualitat, actualment valen la meitat del que valien deu anys enrere. La resta dels elements tècnics de la instal·lació han pujat de preu molt lentament a causa de l'augment de la competència existent entre els fabricants.

Pel que fa als costos d'inversió, les economies d'escala són molt importants a l'hora d'obtenir un cost reduït de l'amortització necessària per recuperar la inversió executada. Tal com podem observar al quadre 3, els costos mitjans per metre cúbic de la inversió varien segons l'escala de la planta: es redueixen a mesura que augmenta l'escala.

Costos d'inversió depenent de la capacitat de la planta:

<b>CAPACITAT PLANTA (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>€/m<sup>3</sup> dia</b>
<5.000	961,62
5.000-10.000	856,44
10.000-25.000	751,27
25.000-40.000	661,11
40.000-60.000	611,43
60.000-80.000	588,99
80.000-100.000	525,89
<100.000	506,35

Quadre 3: Costos d'inversió: Preus del metre cúbic dessalat segons la capacitat de la planta  
 Font: José Antonio Medina San Juan (AEDyR)

L'amortització d'aquestes quantitats dependrà del tipus d'interès a aplicar.

### 3.2. ENERGIA

L'energia és el principal component dels costos d'operació d'una planta dessaladora i, segons els casos, també dels costos totals, inclosa la inversió.

Tal com s'assenyala en l'estudi de CIRCE i la Universitat de Saragossa, la quantitat d'energia necessària per produir el canvi de fase de l'aigua a vapor (calor latent de vaporització) és de 2.258 KJ/kg a pressió atmosfèrica (despesa energètica elevadíssima), el que suposa 0.627 KWh/Kg. Per tant, els sistemes de recuperació d'energia són realment importants, sobretot en els mètodes de destil·lació, per tal d'evitar aquest consum tan desmesurat que faria impensables les tècniques de dessalatge.

A causa d'aquest elevat consum, la gran majoria d'avenços en el camp del dessalatge han anat dirigits a la reducció del consum energètic, bé mitjançant el desenvolupament de tecnologies més eficients des del punt de vista energètic, o a través de millores dels equips de la planta dessaladora mateixa.

El quadre 4 ens mostra com ha variat el consum de les plantes al llarg dels últims anys.

<b>Any</b>	<b>Tecnologia</b>	<b>KWh/m<sup>3</sup></b>
1970	MSF	22
1980	MSF	18
1985	VC	15
1988	VC	13
1990	OI	8,5
1994	OI	6,2
1996	OI	5,3
1998	OI	4,8
1999	OI	4,5

2000	OI	4,0
2001	OI	3,7

Quadre 4. Variació del consum energètic de les plantes dessaladores  
Font. José Antonio Medina San Juan (AEDyR)

Hem de tenir en compte que la font d'energia utilitzada incideix directament sobre el cost associat de l'aigua i, per tant, hem de diferenciar les plantes que utilitzen mètodes de destil·lació amb energia tèrmica procedent de combustibles fòssils (MED i MSF) de les plantes d'osmosi inversa que utilitzen energia elèctrica.

Podem observar el cost del combustible segons la seva naturalesa per al dessalatge d'aigua de mar al quadre següent:

<b>Combustible</b>	<b>Preu (\$/GJ)</b>	<b>MSF (€/m<sup>3</sup>)</b>	<b>MED (€/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Gas natural</b>	4,5	0,93-1,39	0,70-0,93
<b>Petroli</b>	3,8	0,79-1,18	0,59-0,79
<b>Carbó</b>	1,2	0,25-0,37	0,19-0,25

Quadre 5. Cost del combustible per m<sup>3</sup> d'aigua dessalada segons la naturalesa de combustible fòssil  
Font. CIRCE

A més d'aquesta energia tèrmica, els sistemes MED i MSF consumeixen energia elèctrica addicional (important tenir en compte el preu del kWh elèctric consumit). S'han inclòs també les plantes de compressió de vapor (CV) i osmosi inversa (OI), que només consumeixen energia elèctrica (veure quadre 6).

	<b>MSF</b>	<b>MED-TVC</b>	<b>CV</b>	<b>OI</b>
<b>Consum específic (KWh/m<sup>3</sup>)</b>	3,5 - 4	1,5-2	9-11	3- 4,5

Quadre 6. Cost del consum elèctric de les plantes MED, MSF, CV i OI.  
Font. CIRCE

En definitiva, segons els autors de l'estudi realitzat per CIRCE i la Universitat de Saragossa (estudi de gener de 2001), els sistemes de dessalatge que utilitzen combustibles fòssils com a font d'energia (MED i MSF), si tenim en compte els preus internacionals d'aquests combustibles, actualment gaire bé només són a l'abast dels països productors, amb excepció de les plantes que utilitzin carbó.

### 3.3. COSTOS TOTALS

Entre els altres costos que influeixen en el preu de la producció de l'aigua dessalada (personal, reactius, manteniment, etc.) no s'han produït canvis tan significatius. L'escala de la planta torna a ser crucial a l'hora de calcular aquest tipus de costos perquè influeix en la reducció dels relatius a la mà d'obra i a l'amortització, i, quant als reactius utilitzats, el manteniment i el personal el cost acostuma a ser directament proporcional a l'envergadura de la planta, mesurada en m<sup>3</sup>/dia.

Tenint en compte els conceptes anteriorment esmentats, el següent quadre estableix uns costos mitjans de l'aigua dessalada segons el procés utilitzat. La variació dels costos que es presenta depèn, en gran part, com hem dit, de l'escala de la planta.

<b>Unitats: €/m<sup>3</sup></b>	<b>MSF</b>	<b>MED</b>	<b>CV</b>	<b>OI</b>
Fuel	0,44	0,29	0	0
Electricitat	0,17-0,18	0,08-0,09	0,56-0,61	0,25-0,30
Mà d'obra	0,036-0,04	0,036-0,04	0,06-0,09	0,02-0,09
Productes químics	0,036-0,05	0,03-0,04	0,024-0,04	0,024-0,06
Canvi de membranes	0	0	0	0,01-0,04
Neteges químiques	0,01-0,02	0,001-0,002	0,001-0,002	0,001-0,002
Manteniment	0,02-0,036	0,02-0,036	0,018-0,03	0,02-0,036
Total costos operació	0,71-0,74	0,46-0,50	0,66-0,78	0,34-0,54
Amortització	0,38-0,39	0,38-0,39	0,40-0,42	0,17-0,25
<b>Costos mitjans totals</b>	<b>1,09-1,15</b>	<b>0,85-0,90</b>	<b>1,07-1,20</b>	<b>0,5-0,79</b>

Quadre 7. Costos mitjans totals del dessalatge d'aigua de mar segons la tècnica emprada.

Font. José Antonio Medina San Juan (AEDyR)

Per tant, les plantes d'osmosi inversa de mida considerable són l'opció més econòmica tenint en compte la situació actual del mercat energètic. En aquest cas els costos d'inversió estan per sota dels de les tècniques evaporatives.

#### **4. IMPACTES DEL DESSALATGE**

Les plantes dessaladores, com tot procés industrial, tenen un impacte sobre el medi. Podem distingir entre els impactes a escala global i els impactes a escala local.

Els impactes globals vénen donats per l'elevat consum energètic de les plantes dessaladores. Tant si consumeixen energia elèctrica com energia tèrmica, les emissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i altres components derivats de la combustió de les centrals tèrmiques han de ser associades a la planta dessaladora. A escala global aquest procés influeix en l'augment d'emissions d'aquests gasos contaminants a l'atmosfera i, per tant, contribueix de manera significativa a l'efecte hivernacle (escalfament progressiu del planeta), i la pluja àcida, amb la consegüent acidificació de tot el cicle hidrològic i dels sòls que això suposa.

Hem de recordar que, a Menorca, l'energia elèctrica que consumim prové de centrals tèrmiques alimentades amb combustibles fòssils. A escala mundial, l'energia consumida prové en un 80% dels combustibles fòssils, i la seva utilització massiva, a part dels problemes esmentats, condueix a l'esgotament d'aquestes reserves, la qual cosa genera una inestabilitat geopolítica que no em d'oblidar. Així doncs, aquest impacte global es pot evitar en el cas que la planta dessaladora utilitzi energia elèctrica d'origen renovable.

Pel que fa a l'impacte local, altre cop hem de tenir en compte la contaminació amb tots els efectes que comporta, a escala regional, sobre la salut i el medi. A més, també és important fer esment a la contaminació acústica produïda per la planta dessaladora, contaminació que s'ha de tenir present en el cas de situar-se en llocs propers a zones habitades, cosa que és freqüent en el territori de l'Estat a causa de la densa ocupació humana del litoral.

Com a impacte local, també hem de tenir en compte les aigües residuals conseqüència del dessalatge. Aquestes aigües residuals resultants tenen un contingut en sals molt més elevat que les aigües d'origen, presenten diferències de temperatura, de pH, d'alcalinitat, i contenen substàncies químiques utilitzades en el procés de depuració. En el cas de les plantes que funcionen per destil·lació, l'abocament representa de 8 a 10 vegades el volum d'aigua depurada, mentre que en plantes de osmosi inversa el volum residual és menor que en les anteriors (2,5 a 3 vegades el volum depurat) però l'abocament té un contingut en sals molt més elevat.

Aquests abocaments amb elevades concentracions de sals no solen afectar de manera considerable la fauna marina, gràcies a la seva mobilitat, però s'han de tenir molt en compte els efectes negatius que poden tenir sobre la flora marina, sobretot a les comunitats de fanerògames. No es coneixen ben bé els efectes que poden causar aquests abocaments sobre aquestes praderies, però és necessari prendre mesures per tal de no malmetre-les, perquè, a part de la protecció legal a la qual estan sotmeses, el seu valor ecològic és indubtable.

A tot això, tant pel que fa als sistemes de destil·lació com als d'osmosi, s'ha d'afegir l'efecte de l'abocament de productes químics (biocides, antiincrustants i antiescumants) resultat del tractament de l'aigua, així com els dels abocaments puntuals que resulten de la neteja de les membranes (en les plantes d'osmosi) i que constitueixen aportacions molt concentrades de sòlids en suspensió i detergents.

Molts d'autors consideren que el sistema d'osmosi inversa és el de menor impacte sobre el medi ja que les aigües de rebuig són molt diluïdes. De tota manera però l'impacte existeix. La taula següent mostra alguns dels components dels abocaments en els sistemes d'osmosi inversa (també molts d'ells utilitzats en els sistemes de destil·lació) i els seus efectes sobre el medi:

<b>Component</b>	<b>Origen/funció</b>	<b>Efectes</b>
Metalls pesats: Cu, Fe, Ni, Cr, Zn	corrosió	acumulació en el sistema, estrès en l'àmbit molecular i cel·lular
Fosfats	antiincrustants	macronutrient, eutrofització
BELGARD'2000 (àcid màlic)	antiincrustants	desconegut
Cl <sup>-</sup>	antifouling	formació compostos halogenats, cancerígens i mutàgens
Àcids grassos	tensioactius	membranes cel·lulars
Sulfur de sodi	anticorrosiu, captura O <sub>2</sub>	desconegut
Àcid sulfúric	antiincrustant	Pot reduir significativament el pH del sistema
Residus sòlids	neteja de membranes	turbidesa
Salmorra	concentrat d'aigua de mar	variable (pot tenir efectes sobre la flora marina)
Temperatura	tractament	variable

Quadre 8. Efectes sobre el medi dels abocaments resultants del procés de dessalatge.

Font. Esperança García y Enric Ballesteros: "El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino: la salmuera en las comunidades bentónicas mediterráneas".

## **5. EL DESSALATGE AMB ENERGIES RENOVABLES**

Tal com hem esmentat en el capítol anterior, si fem servir fonts d'energia renovables per al dessalatge s'evita l'impacte global descrit anteriorment.

Existeixen diversos factors que fan del dessalatge d'aigua de mar una aplicació atractiva per a les energies renovables. Moltes zones àrides, amb escassetat d'aigua, tenen un gran potencial d'alguna de les energies renovables, especialment eòlica o solar. A més, s'ha de tenir en compte que, en el cas de Menorca, com passa en moltes localitats turístiques, les èpoques de major consum per increment de la demanda a causa del turisme coincideixen amb els períodes àrids, però també són les èpoques en què el potencial d'energia solar és màxim. Aquests factors han motivat que moltes institucions i organismes oficials hagin desenvolupat projectes destinats a millorar i a fer més competitius els sistemes de dessalatge que funcionen amb energia renovable.

### **5.1. SISTEMES DE DESSALATGE AMB ENERGIES RENOVABLES**

#### **5.1.1 *Solar stills***

En el capítol 2.1.3 hem anomenat aquests sistemes destil·lació solar. Es tracta d'imitar el cicle hidrològic natural utilitzant l'efecte hivernacle. Aquest sistema es basa en una piscina o estanc on se situa l'aigua a dessalar i una coberta de plàstic o vidre. L'escalfor passiva del sol provoca la vaporització de l'aigua, que es condensa en entrar en contacte amb la coberta i les petites gotes de condensació es van unint entre si i es desplacen per la coberta, que té un pendent, i són recollides i canalitzades per uns col·lectors cap a un tanc d'emmagatzematge.

Tal com hem comentat abans aquest sistema no és útil per produir grans quantitats d'aigua a causa de la gran quantitat de terreny que es necessita: la producció diària és d'un màxim de quatre litres per metre quadrat de superfície. Són sistemes atractius per a petites instal·lacions, en localitats remotes amb escassos recursos energètics i un bon nivell de radiació solar.

### 5.1.2 Sistemes solars de dessalatge amb plantes MED o MSF

Les plantes dessaladores MED o MSF, que funcionen amb energia procedent de combustibles fòssils, utilitzen fonamentalment energia tèrmica, per tant, el sistema que hauria d'adaptar-se a una planta d'aquest tipus ha de ser capaç de transformar l'energia solar en energia tèrmica.

Els tres elements bàsics que conformen un sistema solar de dessalatge d'aquest tipus són:

- Camps de col·lectors solars: transformen l'energia solar en energia tèrmica fent circular un fluid pels col·lectors que es va escalfant a mesura que avança per dins d'ells (energia solar tèrmica). El tipus de col·lector solar a escollir dependrà de la radiació solar incident: si la insolació directa és de més de 2 MWh/m<sup>2</sup>, els col·lectors de concentració solen ser la solució més efectiva.

Un cop escalfat el fluid, que ha d'arribar a una temperatura mínima de 90 °C, serà enviat al centre d'emmagatzematge.

- Sistema d'emmagatzematge d'energia tèrmica: respon a la necessitat d'emmagatzemar l'energia tèrmica restant per als moments en què no hi ha radiació solar (durant la nit) o en què es veu considerablement reduïda com a conseqüència de l'existència de núvols. Simplement es tracta d'un dipòsit amb diferents sistemes per evitar les pèrdues de calor on es guardarà el fluid calent.
- Planta dessaladora MED o MSF. Les plantes MSF necessiten treballar almenys a 110-120 °C, per tant, seran necessaris col·lectors solars de concentració.

### 5.1.3 Plantes dessaladores fotovoltaiques i eòliques

Els sistemes fotovoltaics i eòlics transformen l'energia solar i eòlica respectivament en energia elèctrica. Per tant, qualsevol procés de dessalatge que utilitzi energia elèctrica pot emprar aquest tipus d'energia renovable. Seria el cas dels sistemes d'osmosi inversa i d'electrodiàlisi.

La planta dessaladora completa estaria formada per:

- Sistema de generació elèctrica: conjunt de plaques fotovoltaiques o aerogeneradors, o un sistema híbrid d'ambdues tecnologies.
- Sistema d'emmagatzematge de l'energia elèctrica: acumuladors similars als utilitzats en les aplicacions convencionals, tot i que amb algunes característiques especials per aconseguir una major fiabilitat i durabilitat
- Planta dessaladora: idèntica a les plantes d'osmosi inversa o electrodiàlisi convencional.

En aquests sistemes de dessalatge existeixen una sèrie de subsistemes auxiliars elèctrics:

- Inversor: transforma el corrent continu que proporcionen les bateries del sistema d'emmagatzematge en el corrent altern que requereixen les bombes i els elements elèctrics que componen la dessaladora.
- Rectificador: transforma el corrent altern produït per l'aerogenerador a corrent contínu i, d'aquesta manera, es pot emmagatzemar en els acumuladors. Les plantes que funcionen amb plaques fotovoltaiques no necessiten rectificador, perquè l'energia elèctrica que proporcionen és contínua.

A l'apartat 5.3 s'expliquen alguns exemples pràctics d'aquest sistemes de dessalatge fotovoltaics i eòlics.

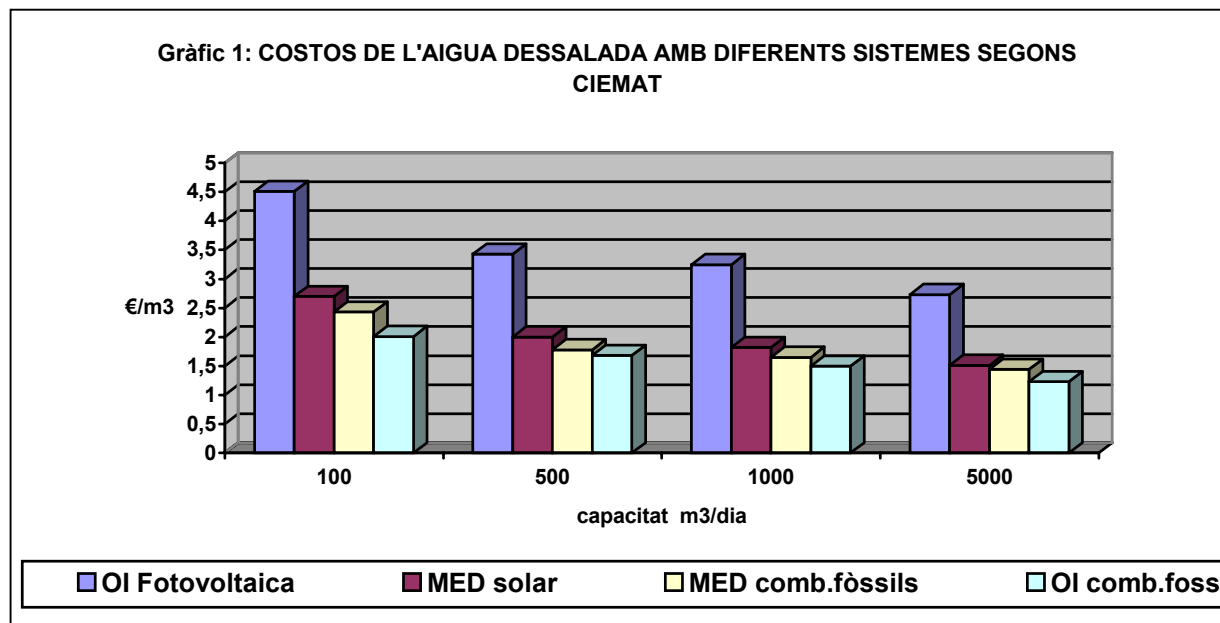
## 5.2. COSTOS

Pel que fa als costos de l'aigua produïda, donem com a preus aproximats els representats en el quadre 9 i el gràfic 1 que podem observar a continuació, dades extretes d'estudis realitzats per la CIEMAT-Plataforma Solar d'Almeria.

<b>Costos m<sup>3</sup> aigua dessalada (€/m<sup>3</sup>)</b>				
<b>Capacitat planta (m<sup>3</sup>/dia)</b>	100	500	1000	5000
<b>OI Fotovoltaica.</b>	4,51	3,43	3,25	2,73
<b>MED solar</b>	2,7	2	1,82	1,51
<b>MED combustibles fòssils</b>	2,43	1,78	1,65	1,44
<b>OI combustibles fòssils</b>	2,01	1,68	1,5	1,23

Quadre 9. costos del metre cúbic d'aigua dessalada amb diferents tècniques i segons escala de la planta.

Font. CIEMAT



Gràfic 1. Costos de l'aigua dessalada amb diferents sistemes de dessalatge.

Font.: CIEMAT

Les dades anteriors referents als costos de dessalatge procedents de la plataforma solar d'Almeria són lleugerament superiors a les d'altres fonts consultades, tant pel que fa als sistemes alimentats per energies renovables com pels que n'empren de no renovables, però són un bon exemple de comparació entre els costos de les diferents plantes d'energies fòssils i les d'energies renovables.

Les diferències en les diverses anàlisis econòmiques es produeixen pel fet que els resultats depenen fortament de les dades de

partida que es prenen. És usual trobar grans diferències en comparar dades econòmiques procedents de diferents fonts d'informació, diferències que es deuen al fet de no tenir un procediment d'anàlisi comú. Així doncs, les dades anteriors són útils per a comparar les diverses tècniques de dessalatge perquè empen les mateixes dades de partida. Aquestes dades de partida utilitzades en l'estudi econòmic del CIEMAT són:

<b>Dades de partida</b>	<b>cost</b>
Interès anual del diner	10%
Col·lectors solars	150 €/ m <sup>2</sup>
Oli tèrmic	0,83 €/Kg
Fracció solar	55%
Vida útil del sistema	15 anys
Subvenció del sistema d'energies alternatives	0%
Preu del combustible fòssil	0,02 €/KWh
Preu de l'electricitat	0,08 €/KWh
Cost d'oportunitat del diner	8%
Capital inicialment disponible	0%

Quadre 10: Dades de partida per a l'estudi econòmic segons CIEMAT

La majoria d'estudis actuals situen els costos totals del dessalatge amb osmosi inversa amb energies procedents de combustibles fòssils sobre els 0,5-0,79 €/m<sup>3</sup>. Pel que fa a les energies renovables, el quadre que segueix correspon als costos totals de dessalatge d'exemples de plantes concretes d'osmosi inversa, amb fonts energètiques fotovoltaïques i eòliques, segons la Italian National Agency for New Technology Energy and the Environment.

<b>Tipus de planta sistema</b>	<b>Costos d'inversió (€)</b>	<b>Producció</b>	<b>Amortització (10 anys)</b>	<b>Funcionament (€/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Costos totals (€/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Lilliput PV (fotovoltaica)</b>	70.550	4.200	1,68	0,22	1,90
<b>Lilliput WT (eòlica)</b>	62.250	4.200	1,48	0,22	1,70
<b>Eolos W.T (eòlica)</b>	356.200	84.000	0,42	0,28	0,60

Quadre 11: Costos totals (€/m<sup>3</sup>) de dessalatge per a tres exemples de plantes solars i eòliques  
Font: Italian National Agency for New Technology Energy and the Environment

En el cas que l'amortització sigui a 20 anys, els costos passen a ser 1,06; 0,96 i 0,39 €/m<sup>3</sup> respectivament.

És important tenir en compte que les plantes amb energies renovables tenen uns costos mitjans lleugerament superiors a les plantes amb energies no renovables a causa del cost d'inversió més elevat, cost que es veu compensat per l'estalvi en la despesa energètica. És a dir, en l'estructura de costos d'una dessaladora alimentada amb energies renovables la despesa energètica derivada de combustibles fòssils, és substituïda per una major amortització de la inversió.

A més també és molt important recalcar que els costos ambientals encara no estan totalment inclosos en l'economia i, per tant, ni els desavantatges ni costos de la contaminació atmosfèrica ni tampoc els avantatges ambientals de les energies renovables no es veuen plasmats en els pressupostos.

## **5.3 EXEMPLES PROPERS DE PLANTES DESSALADORES AMB ENERGIES RENOVABLES**

### **5.3.1. Plantes d'experimentació**

A continuació s'explica amb deteniment un exemple de planta dessaladora amb energia renovable dels nombrosos que es poden trobar en funcionament. Es tracta d'una dessaladora eòlica projecte de l' Institut Tecnològic de Canàries (ITC).

#### **> AERODESA I**

El projecte consta d'un aeromotor de potència nominal de 15 KW i baixa tecnologia especialment dissenyat per al seu acoblament a una planta dessaladora d'aigua de mar d'osmosi inversa, d'una capacitat de 10 m<sup>3</sup>/dia, amb sistema d'acoblament mecànic que empra com a fluid de control l'aigua de mar mateixa.

El rotor està format per tres pales de 4,5 m i ha estat construït de manera tradicional amb fibra de vidre en polièster. Les pales han estat construïdes a Gran Canària. Té un sistema de transmissió mecànica i el mòdul de dessalatge es compon per 4 membranes osmòtiques disposades en sèrie. El sistema de control utilitza l'aigua de mar com a fluid de control amb el suport d'un acumulador de pressió. La planta dessaladora funciona en règim variable, dintre dels límits establerts pel fabricant de la planta (entre 45 i 70 bars), i aquestes variacions són possibles gràcies al sistema de vàlvules de l'aigua de mar que actua com a control.

Dades d'interès:

- La relació superfície-producció és de 59 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>/dia.
- El cost de l'aigua en prototip és de 3,78 €/m<sup>3</sup>
- El cost de l'aigua en cas de fabricació en sèrie és de 1,89 €/m<sup>3</sup>.

L'ITC (Institut Tecnològic de Canàries) té altres projectes de dessaladores eòliques d'aquest tipus: AERODESA II i AEROGEDESA.

➤ **Altres exemples:**

- Sistema solar **MED de dessalatge instal·lat a la Plataforma Solar d'Almeria**. Integrat per un camp de col·lectors solars cilindroparabòlics i una planta MED de 14 etapes, el sistema d'emmagatzematge utilitzat consisteix en un tanc vertical de 114 m<sup>3</sup> ple d'oli tèrmic, que actua simultàniament com a medi portador de calor i medi d'emmagatzematge de l'energia tèrmica subministrada pels col·lectors solars.
- Planta dessaladora pilot, **Projecte DESSOL** a Gran Canària. Planta d'osmosi inversa amb alimentació fotovoltaica amb capacitat mitjana de 3 m<sup>3</sup>/dia.
- Planta dessaladora projecte **PRODESAL** de l'ITER (Institut Tecnològic i d'Energies Renovables. Tenerife. Illes Canàries). El procés empleat és una planta dessaladora d'osmosi inversa, amb una superfície de membranes de 450 m<sup>2</sup>. El subministrament energètic ve donat per un aerogenerador E-30 de 200 kW. Té un consum de 3,5 kWh/m<sup>3</sup>, una producció de 10,5 m<sup>3</sup>/hora (252 m<sup>3</sup>/dia). La qualitat de l'aigua de sortida és d'uns 500 ppm. El rendiment és d'un 25 %.
- Planta dessaladora d'osmosi inversa **projecte MODESAL** (ITER). La producció és de 70-120 m<sup>3</sup>/dia, el consum de 14-18KW (4 kWh/m<sup>3</sup>), subministrats per un aerogenerador E-12 de 30KW.
- Planta dessaladora d'osmosi inversa amb energia fotovoltaica del CREST (Center for Renewable Energy Systems Technology. UK). Consum al voltant de 3,5 kWh/m<sup>3</sup>

- Planta dessaladora CRES d'osmosis inversa. (Centre Renewable Energy Sources, Greece) parc eòlic, Lavrio. Sistema híbrid eòlic-fotovoltaic. Producció de 130 l/hora.
- Planta pilot de dessalatge amb energia solar a Eivissa, des de maig de 1993. Producció de 40-85 l/h. Consum de 150-200 kWh/m<sup>3</sup> (International Desalination Association)

Els exemples anteriors, els trobem, entre nombrosos projectes a tota la conca mediterrània.

### 5.3.2 Plantes en funcionament

El 60% de les plantes amb energies renovables en actiu funcionen amb el mètode d'osmosi inversa. Alguns exemples són:

- Planta dessaladora híbrida solar-eòlica d'osmosi inversa de l'illa de Malta. El consum d'electricitat es situa al voltant dels 74,6 MWh/dia i la mitjana mensual és de 2.270 MWh. Les variacions mensuals de consum són relativament baixes, excepte els mesos de juliol i agost (augment del 12% i el 25% respectivament). El desembre, el consum disminueix un 10%.
- Illa de la Sal, Cabo Verde. Gestió integral de l'aigua en tot el seu cicle: es produeix aigua potable a través del dessalatge, s'utilitza per al consum urbà i es reutilitza per a rec. La planta dessaladora emprà el mètode d'osmosi inversa i s'alimenta amb energia eòlica. Té un consum de 5,1 kWh/m<sup>3</sup> i una potència total instal·lada de 500 kW.
- Planta dessaladora d'osmosi inversa alimentada amb energia fotovoltaica a la costa del mar Roig, Hurghada (Egipte). Produeix 60 m<sup>3</sup>/dia.

### 5.3.3 Projectes en marxa

- S'està portant a terme el projecte Europeu "*Implementation of 100% RES Project for El Hierro Island Canary Island*", dins el projecte "*Toward 100% RES supply in little islands*", amb el qual es pretén que l'illa del Hierro (Illes Canaries) sigui totalment

autosuficient energèticament amb fonts d'energies renovables. El projecte inclou les plantes de dessalatge d'aigua de mar amb una capacitat total de 500.000 m<sup>3</sup>/any, amb energies renovables i amb una inversió de 2.100.000 euros

- L'anterior projecte també s'està duent a l'illa Maddalena (Sardenya), i també inclou plantes dessaladores d'energia eòlica.

## 5. ALGUNES FONTS D'INFORMACIÓ

### **Instituto Tecnológico y de Energías Renovables**

E-38611 San Isidro, Tenerife, Islas Canarias

Tel. +34 922 391 000

Fax. +34 922 391 001

Correu electrònic: [iter@iter.rcanaria.es](mailto:iter@iter.rcanaria.es)

### **CIEMAT**

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas

Ministerio de Ciencia y Tecnología

[www.ciemat.es](http://www.ciemat.es)

### **European Desalination Society (EDS) Secretariat**

Science Park of Abruzzo

Via Antica Arischia, 1

67100 L'Aquila, Italy

Tel. +39 - 0862 - 3475308

Fax. +39 - 0862 - 3475213

[Miriam.Balaban@aquila.infn.it](mailto:Miriam.Balaban@aquila.infn.it)

[www.edsoc.com](http://www.edsoc.com)

### **International Desalination Association (IDA)**

Secretary General Patricia Burke

POB 387  
7 Central Street  
Topsfield, MA 01983 USA  
Tel. +1 978 887 0410  
Fax. +1 978 887 0411  
[paburke@idadesal.org](mailto:paburke@idadesal.org)  
<http://www.idadesal.org>

## 7. BIBLIOGRAFIA

CALERO, R; MENÉNDEZ, A. *Experiencias de desalación con energías renovables*. Instituto Tecnológico de Canarias S.A.

CRUZ, I. *50 kW Modular wind/diesel system with a short-term storage system based on high speed flywheel for islands electrification and seawater desalination*

FAGES, J. *Sustainable desalination, distribution, sewage and re-use in the Cape Verde archipelago* EREF (European Renewable Energies Federation). HIDROWATT, S.A, 2001.

FARRUGIA, R.N; ISKANDER YOUSIF, C. *A hybrid wind/solar photovoltaic system for malta: a case study for supplying power to a reverse osmosis desalination plant*". Institute for Energy Technology, University of Malta

GARCÍA, E; BALLESTEROS, E. *El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino: la salmuera en las comunidades bentónicas mediterráneas*.

*Técnicas de desalación*. Instituto Tecnológico y de Energías Renovables.

KORONEOS, C; DOMPROS, A; ROUMBAS,C. *Multi Criteria Analysis software for Renewable Energy Driven Desalination Systems*. Moussiopoulos, Greece.

MASSIMO PIZZICHINI, C. *Desalination plants with membrane technology supplied with renewable energy*. Italian National Agency for New Technology Energy and the Environment

MEDINA SAN JUAN, J.A. *La desalación del siglo XXI. Una aproximación a los costes reales de la desalación de aguas salobres y de mar en la agricultura*. II Congreso Nacional de AEDyR. Alacant, 2001

MEDINA SAN JUAN, J.A. *La desalación en España. situación actual y previsiones.* Asociación Española de Desalación y Reutilización. Delegación Area de Fomento.

MURRAY THOMSON. *A Reverse-Osmosis System for the Desalination of Seawater Powered by Photovoltaics Without Batteries.* CREST (Centre for Renewable Energy Systems Technology) Loughborough University, UK

VALERO, A; UCHE, J; SERRA, L. *La desalación como alternativa al Plan Hidrológico Nacional.* CIRCE – Universidad de Zaragoza, 2001

ZARZA MOYA, E. *Desalación dels agua mediante energias renovables.* CIEMAT-Plataforma Solar de Almería.

Altres documents de treball de l'OBSAM:

FULLANA COLL, A; MARÍ PONS; S. Document 1/2002: *La població estacional a Menorca 1977-2002*. Maó: IME-OBSAM, 2002.

CARRERAS MARTÍ, D. Document 2/2002: *Seguiment del medi natural terrestre de Menorca 2001–2002*. Maó: IME-OBSAM, 2002.

RAMIS SASTRE, M. Document de treball 3/2003: *La situació energètica insular i el repte de la sostenibilitat - Menorca 2002*. Maó: IME-Agència de l'Energia, 2003.

ESTRADÉ NIUBÓ, S. Document de treball 4/2003: *Seguiment dels recursos hídrics de Menorca 2002*. Maó: IME-OBSAM, 2003.

ESTRADÉ NIUBÓ, S. Document de treball 5/2003: *L'Evapotranspiració potencial a Menorca. Comparació entre els diferents mètodes de càlcul*. Maó: IME-OBSAM, 2003.